

Chassisregelung für überaktuierte planetare Explorationsrover in weichem Sand

Stefan Barthelmes *

*Institut für Systemdynamik und
Regelungstechnik
Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)
Münchner Straße 20, 82234 Weßling
Tel.: 08153/28-4212
Fax: 08153/28-1441
E-Mail: Stefan.Barthelmes@dlr.de

Johann Bals **

** Institut für Systemdynamik und
Regelungstechnik
Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)
Münchner Straße 20, 82234 Weßling
Tel.: 08153/28-2433
Fax: 08153/28-1441
E-Mail: Johann.Bals@dlr.de

Schlüsselwörter: Mobile Roboter, Control Allocation, Chassisregelung



Abbildung 1: DLR Lightweight Rover Unit (LRU) in der ROBEX Mond-Analog Mission auf dem Ätna [dlr.de]

Der Einsatz von planetaren Explorationsrovern in schwierigem, unbekanntem Terrain erfordert eine robuste Lokomotion. Wie in *Abbildung 1* gezeigt, werden bei solchen Rovern daher meist alle Räder einzeln angetrieben und mehrere individuell gelenkt. In Pfadfolge- oder Autonomiealgorithmen wird eine Bewegungsvorgabe durch drei Größen beschrieben. Für die Bewegungsausführung durch einen Chassisregler ergibt sich daraus je nach Anzahl der Antriebs- und Lenkaktoren eine Überaktuierung des Systems.

In Missionen der planetaren Exploration wird das zusätzliche Optimierungspotential einer solchen Überaktuierung bisher kaum eingesetzt [1] [2]. In Forschungsarbeiten kann zwischen der Regelung der Raddrehzahlen und der Radmomente unterschieden werden. Drehzahlbasierte Ansätze wurden beispielsweise um ein Angleichen der Geschwindigkeiten für unebenen Boden und Hindernisse erweitert [3]. Um der entscheidenden Rolle der Bodenmechanik Rechnung zu tragen, wurde bei dieser Art der Ansteuerung auf rechenaufwändige modellprädiktive Regelung zurückgegriffen [4]. Zur Drehmomentregelung auf sandigen Böden wurden in [5] die erforderlichen Kräfte und Momente auf Gesamtsystemebene entsprechend der geschätzten Normalkräfte auf die Räder verteilt. Während die damit einhergehende Annahme konstanter Reibwerte für die betrachteten Böden nicht zulässig ist, fehlt eine Lösung für die Berechnung der Lenkwinkel gänzlich.

Die sich ergebende Fragestellung lautet daher: Kann eine Chassisregelung für die Lokomotion auf sandigen Böden entworfen werden, die bekannte Zusammenhänge und Störungen kompensiert und die Überaktuierung des Systems zur optimalen Verteilung der Kräfte nutzt? Um einen Einsatz in der planetaren Exploration zu ermöglichen, soll der Chassisregler ausschließlich auf in Missionen vorhandene Sensoren zurückgreifen und mit beschränkter Rechenleistung auskommen.

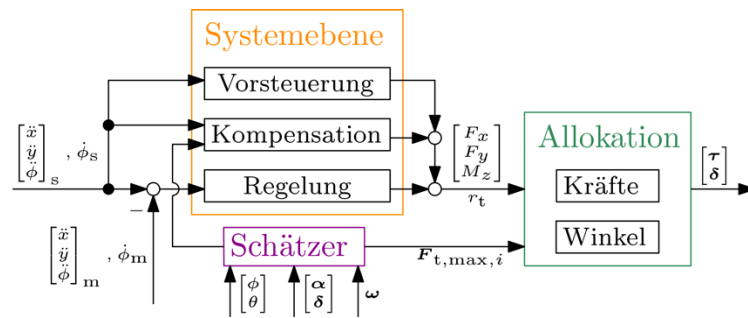


Abbildung 2: Übersicht des Chassisreglers ATC

Zur Erfüllung der genannten Anforderungen wird in diesem Beitrag ein All-Terrain-Controller (ATC) [6] vorgestellt, der aus drei Hauptkomponenten besteht (siehe Abbildung 2).

Die linearen Beschleunigungen \ddot{x}, \ddot{y} und die Gierrate $\dot{\phi}$ werden in der Vorsteuerung in erforderliche Massenkräfte

übersetzt. Kompensiert werden Bodenwiderstandskräfte, Widerstandsmomente der Antriebe sowie Gravitationskräfte unter Berücksichtigung von lateralen Haltekräften an den Rädern. Unbekannte Störungen und Modellierungsfehler werden schließlich im Regler ausgeglichen.

In der Allokation der Kräfte und Momente wird durch einen neuartigen, hybriden Ansatz der Unterschiedlichkeit von Antriebsmoment und Lenkwinkel Rechnung getragen. Die Sollkräfte müssen im aktuellen Zeitschritt optimal auf die momentanen Radlängsrichtungen verteilt werden, da nur in diesen Richtungen Kräfte durch die Antriebseinheiten aufgebracht werden können. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Gelenkwinkel und unter Minimierung der Ausnutzung des radindividuell geschätzten Traktionspotentials der Räder. Die verbleibenden Kräfte werden dann für die Berechnung eines Schwimmwinkels verwendet, welcher durch gleiches Einlenken aller Räder realisiert wird. Dieser Schrägbewegung wird schließlich ein gesondert aus der Soll-Gierrate berechneter Kurvenradius r_t dergestalt überlagert, dass sich ein Momentanpol ergibt.

Der Ansatz wurde in der Simulation und im Laborversuch verifiziert. Eingriffe der Regelung sind aufgrund der zusätzlichen Vorsteuerung und Kompensation nur in stark vermindertem Maße nötig. Während einer Kurven- und Schrägfahrt am Hang steuert der ATC sowohl mit unterschiedlichen Antriebsmomenten als auch durch Einstellen eines Vorhaltewinkels gegen die Hangabtriebskraft. Bei Blockierung oder Durchdrehen einzelner Räder verhindert die Traktionskraftschätzung ein Eingraben der Räder und damit ein Festfahren des Rovers. Für den ATC wurden dabei ausschließlich Messwerte aus IMU, Winkelsensoren und Motorencodern-/reglern verwendet.

Literatur:

- [1] J. P. Grotzinger et al., „Mars Science Laboratory mission and science investigation,“ *Space science reviews*, 2012.
- [2] A. Ellery, *Planetary Rovers - Robotic Exploration of the Solar System*, Springer, 2016.
- [3] T. Peynot et al., „Enhanced locomotion control for a planetary rover,“ *IROS*, 2003.
- [4] R. Krenn et al., „Model predictive traction and steering control of planetary rovers,“ 2013.
- [5] K. Iagnemma et al., *Mobile Robots in Rough Terrain: Estimation, Motion Planning, and Control with Application to Planetary Rovers*, Springer, 2004.
- [6] S. Barthelmes, „An All-Terrain-Controller for Over-Actuated Wheeled Mobile Robots with Feedforward and Optimization-Based Control Allocation“, *CDC*, 2017.